



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## COMPARAÇÃO ENTRE OS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA E AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS NO SEDIMENTO DE DOIS SISTEMAS LÓTICOS DO VALE DO RIBEIRA DE IGUAPE, SP

Davi Gasparini Fernandes Cunha<sup>1</sup>; Maria do Carmo Calijuri<sup>2</sup>

---

### RESUMO

Desenvolvida em uma das regiões do estado de São Paulo mais carentes dos pontos de vista social e econômico, o Vale do Ribeira de Iguape, esta pesquisa teve como objetivo principal caracterizar quimicamente o sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu. Para isso, foram determinados oito pontos de amostragem em cada rio, abrangendo locais estratégicos. Procedeu-se à quantificação de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo totais, cádmio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio nas amostras do sedimento. Os resultados mostraram que os sedimentos dos dois rios podem ser considerados minerais, já que os teores de matéria orgânica se mantiveram abaixo de 10%. Houve incremento das concentrações de nitrogênio e fósforo totais a jusante dos lançamentos dos efluentes de uma indústria de fertilizantes no rio Jacupiranguinha, e de uma lagoa de estabilização no rio Pariquera-Açu. As máximas concentrações de cobre, manganês e mercúrio foram encontradas no sedimento do rio Jacupiranguinha: 22,0 mg kg<sup>-1</sup>, 551,0 mg kg<sup>-1</sup> e 0,15 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, no local de descarga do efluente industrial. A maior concentração de chumbo, por sua vez, foi detectada na foz do rio Pariquera-Açu, 26,0 mg.kg<sup>-1</sup>. O cálculo do Igeo (Índice de Geoacumulação) para todos os pontos de amostragem mostrou que os sedimentos dos dois rios não estavam poluídos, na ocasião das coletas, pelos metais quantificados nesta pesquisa.

**Palavras-chave:** matéria orgânica; nutrientes; metais pesados; sedimentos; Vale do Ribeira de Iguape.

### COMPARISON AMONG ORGANIC MATTER, NUTRIENTS AND HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN SEDIMENTS OF TWO LOTIC AQUATIC SYSTEMS, RIBEIRA DO IGUAPE WATERSHED, SP, BRAZIL

### ABSTRACT

Developed in Ribeira do Iguape Watershed, one of the poorest regions in São Paulo state, Southeast Brazil, this research aimed to characterize the sediment of Jacupiranguinha and Pariquera-Açu Rivers. Eight sampling stations were demarcated on each river, covering strategic places. In all samples, organic matter content, total phosphorus and nitrogen, cadmium, lead, copper, manganese and mercury concentrations were determined. The results showed that the sediment of both rivers could be considered mineral, since the organic matter contents were all lower than 10%. There was evident increment on total phosphorus and nitrogen concentrations after the discharge of a fertilizers' factory effluent, in Jacupiranguinha River, and after the effluent of a stabilization pound in Pariquera-Açu River. The highest copper, manganese and mercury concentrations were detected in Jacupiranguinha River sediment: 22.0 mg kg<sup>-1</sup>, 551.0 mg kg<sup>-1</sup> e 0.15 mg kg<sup>-1</sup> (Sampling Station 6, which corresponds to the discharge of the industrial effluent). The highest lead concentration was found in Pariquera-Açu River, 26.0 mg kg<sup>-1</sup>, in Sampling Station 8. Igeo (Geoaccumulation Index) calculus revealed that the sediments of both rivers were not polluted by the metals that were quantified.

**Keywords:** organic matter; nutrients; heavy metals; sediments; Ribeira do Iguape Basin.

---

Trabalho recebido em 08/05/2008 e aceito para publicação em 20/06/2008.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental (5o ano), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP). Av. Trabalhador Sancarlense, nº 400 – Centro. CEP 13566-590 – São Carlos, SP – Brasil. e-mail: davig@sc.usp.br

<sup>2</sup> Professora Titular, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP). e-mail: calijuri@sc.usp.br

## 1. INTRODUÇÃO

Os usos múltiplos da água devem ser garantidos por meio de um programa de gestão dos recursos hídricos, baseando-se nas premissas da sustentabilidade ambiental e no planejamento em longo prazo, que seja compatível com as mudanças nos padrões de uso e ocupação da respectiva bacia hidrográfica, em escala temporal adequada. Os rios são ecossistemas aquáticos em constante interação com a atmosfera e com o ambiente terrestre circundante. Os sistemas lóticos apresentam significativa importância ambiental (servem de abrigo para populações animais e vegetais, possuem funções ecológicas específicas, relacionadas à regulação do clima, ao ciclo hidrológico, entre outros), social (são utilizados como fonte de abastecimento de água e alimento para o ser humano, além de propiciarem atividades recreativas) e econômica (a água é largamente empregada em processos produtivos industriais). Além disso, muitos rios são navegáveis e viabilizam o escoamento de mercadorias. Neste contexto, assume-se que o manejo destes sistemas deve internalizar uma série de variáveis ambientais, sociais e econômicas, de modo que se promova a auto-sustentação desses ambientes e que, simultaneamente, tome-se

partido de todos os benefícios e serviços que oferecem.

O estudo do sedimento de um rio, em especial, permite inferir a respeito dos impactos a que o sistema esteve e está submetido, já que este compartimento apresenta a propriedade de atuar como registro histórico das atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi comparar os teores de matéria orgânica, as concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e de alguns metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio) no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu, ambos localizados no Vale do rio Ribeira de Iguape, estado de São Paulo, Brasil, e submetidos a diferentes níveis de impactos oriundos das atividades antrópicas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu situam-se na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, sul do estado de São Paulo (Figura 1), e atravessam os municípios de Cajati e Pariquera-Açu, respectivamente. O Vale do Ribeira de Iguape tem como coordenadas geográficas: latitudes S 23°30' e 25°30' e longitudes O 46°50' e 50°00'



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo e de alguns municípios no estado de São Paulo.

Vale destacar que o rio Jacupiranguinha enfrenta uma série de interferências antrópicas, de magnitude superior àquela sofrida pelo rio Parquera-Açu. Ao longo das margens do rio Jacupiranguinha, por exemplo, é recorrente a substituição da mata ciliar por cultivos agrícolas, sobretudo pela bananicultura (MOCCELLIN, 2006). Além disso, o rio Jacupiranguinha recebe o lançamento de um efluente de uma indústria de fertilizantes. O rio Parquera-Açu, por outro lado, mais preservado, apresenta mata ciliar em diversos trechos e,

aparentemente, não recebe efluentes industriais. Os dois rios, contudo, são receptores de efluentes de lagoas de estabilização que tratam o esgoto doméstico dos municípios de Cajati e Parquera-Açu.

Dados climatológicos foram obtidos de postos do IAC, Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO, 2007). São apresentados dados de precipitação pluviométrica mensal e diária. Os postos meteorológicos do IAC se localizam nos municípios de Jacupiranga e Parquera-Açu.

As amostras de sedimento foram coletadas em períodos chuvosos dos anos de 2005 e 2007. No rio Jacupiranguinha, a amostragem foi realizada no dia 26 de janeiro de 2005 e no rio Pariquera-Açu, no dia 17 de janeiro de 2007. As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos para posterior quantificação, no Laboratório Biotace (EESC-USP), de matéria orgânica (TRINDADE, 1980) e de nitrogênio e fósforo totais (ANDERSEN, 1976 e APHA, 2002, respectivamente). Para a determinação dos metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio), as amostras foram conservadas em frascos de vidro, sob refrigeração, e enviadas ao Laboratório Bioagri Ambiental (SP). Para a quantificação de cádmio, chumbo, cobre e manganês, foi seguido o método Inductively Coupled Plasma (ICP). Para o mercúrio, adotou-se Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric.

Em cada um dos dois rios, foram determinadas estações amostrais, cujas localizações foram consideradas estratégicas, como, por exemplo, a montante e a jusante do lançamento do efluente da estação de tratamento de esgotos (ETE), a jusante do lançamento de um despejo industrial, ponto de captação de água para abastecimento público, entre outros (Tabela 1).

Para avaliar o grau de poluição por metais pesados no sedimento dos rios estudados, calculou-se o Igeo (Índice de Geoacumulação) para cada ponto de amostragem, a partir da Equação 1:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1,5 \times C_b} \right) \quad (1)$$

em que  $C_n$  é a concentração do metal no sedimento ( $\text{mg kg}^{-1}$ );  $C_b$  é a concentração de base ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), ou seja, valor geoquímico de background do metal, baseado na composição média dos folhelos; 1,5 é um fator utilizado para compensar possíveis variações dos dados de background devido a efeitos litogênicos (FÖRSTNER & WITTMAN, 1983).

O Igeo é largamente empregado em pesquisas de avaliação geoquímica de ambientes impactados (MOREIRA & BOAVENTURA, 2003). A partir do resultado numérico do Igeo, foi possível atribuir uma classificação de acordo com o nível de poluição da amostra (Tabela 2).

Alguns valores de background (Tabela 3), utilizados no cálculo do Igeo, foram obtidos a partir de pesquisas que não se desenvolveram no Brasil, o que gera certas imprecisões.

**Tabela 1.** Referências e coordenadas geográficas das oito estações amostrais determinadas nos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu.

<b>Ponto</b>	<b>Rio Jacupiranguinha (Referência, Latitude, Longitude)</b>	<b>Rio Pariquera-Açu (Referência, Latitude, Longitude)</b>
<b>1</b>	Antes do município de Cajatí S 24° 43' 11"; WO 48° 10' 26"	Próximo à nascente do rio S 24° 44' 54"; WO 47° 56' 58"
<b>2</b>	Ainda antes do município de Cajatí S 24° 43' 56"; WO 48° 08' 49"	Antes do município de Pariquera-Açu S 24° 43' 36"; WO 47° 54' 26"
<b>3</b>	Local de captação de água para abastecimento público (Cajatí) S 24° 43' 51"; WO 48° 07' 57"	Local de captação de água para abastecimento público (Pariquera-Açu) S 24° 43' 00"; WO 47° 53' 40"
<b>4</b>	A montante do lançamento do efluente da ETE S 24° 43' 38"; WO 48° 05' 55"	A montante do lançamento do efluente da ETE S 24° 42' 07"; WO 47° 52' 55"
<b>5</b>	A jusante do lançamento do efluente da ETE-Cajatí S 24° 43' 22"; WO 48° 05' 37"	A jusante do lançamento do efluente da ETE-Pariquera-Açu S 24° 42' 03"; WO 47° 52' 55"
<b>6</b>	A jusante do lançamento do efluente de uma indústria de fertilizantes S 24° 43' 05"; WO 48° 05' 10"	Depois do município de Pariquera-Açu S 24° 37' 57"; WO 47° 50' 59"
<b>7</b>	Entrada de uma área alagada ( <i>wetland</i> natural) S 24° 43' 02"; WO 48° 04' 55"	Próximo ao Parque Estadual Campina do Encantado S 24° 36' 41"; WO 47° 46' 38"
<b>8</b>	Foz do rio Jacupiranguinha S 24° 43' 02"; WO 48° 03' 00"	Foz do rio Pariquera-Açu S 24° 37' 56"; WO 47° 44' 12"

**Tabela 2.** Classificação dos parâmetros pelo Índice de Geoacumulação (Igeo), conforme o grau de poluição.

<b>Classificação</b>	<b>Valor numérico do Igeo</b>
Extremamente poluído	Igeo $\geq$ 5
Fortemente a extremamente poluído	4 $\leq$ Igeo < 5
Fortemente poluído	3 $\leq$ Igeo < 4
Moderadamente a fortemente poluído	2 $\leq$ Igeo < 3
Moderadamente poluído	1 $\leq$ Igeo < 2
Não poluído a moderadamente poluído	0 $\leq$ Igeo < 1
Praticamente não poluído	Igeo < 0

**Tabela 3.** Concentrações de *background* para o cálculo do Igeo dos metais quantificados no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu.

<b>Metal</b>	<b><i>Background</i> (mg.kg<sup>-1</sup>) [limite para sedimentos não poluídos]</b>	<b>Referência</b>
Cádmio	1,0	Pádua (1997)
Chumbo	20,0	Morsch (1991)
Cobre	18,0	Nascimento (2003)
Manganês	300,0	Thomas (1987)
Mercúrio	0,18	Bowen (1979)

Contudo, considerando a carência de concentrações de *background* de alguns metais pesados para sedimentos de rios brasileiros, recorrer a estudos internacionais foi a única alternativa viável.

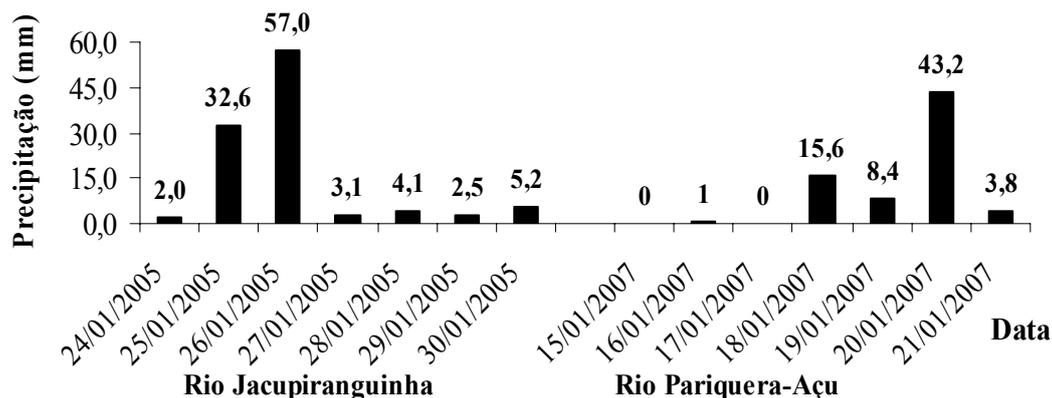
Além disso, foram elaboradas matrizes de correlação entre todas as variáveis do sedimento determinadas na presente pesquisa, de modo a facilitar o entendimento dos processos envolvidos neste compartimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

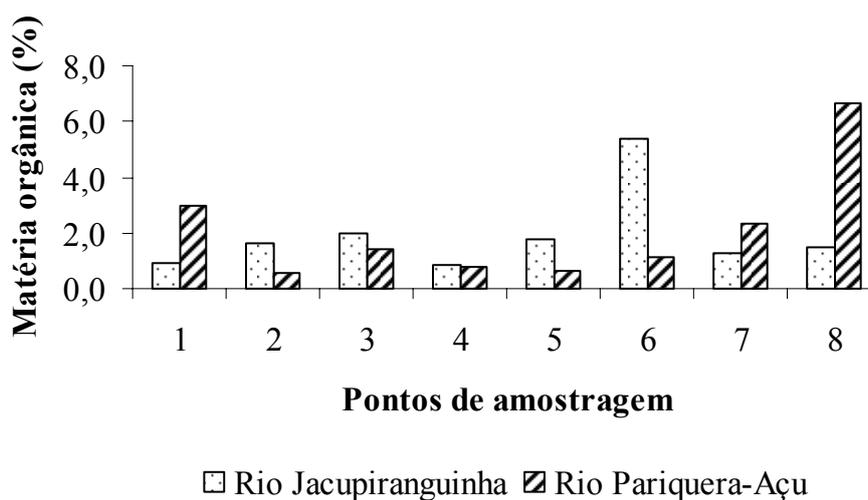
Os meses de janeiro de 2005 e de 2007 foram chuvosos, apresentando totais de 377 mm (município de Jacupiranga, próximo ao rio Jacupiranguinha) e 236 mm de chuva (município de Pariquera-Açu), respectivamente (CIIAGRO, 2005; CIIAGRO, 2007). Considerando somente

as semanas de coleta nos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu houve um total de 106,5 mm e 72,0 mm de chuva nos municípios de Jacupiranga e de Pariquera-Açu (Figura 2), respectivamente. Viana (2005) destacou que a precipitação pluviométrica é capaz de interferir em diversos processos físicos e químicos que ocorrem nos ambientes aquáticos, como por exemplo na vazão, no transporte de sedimentos, na turbidez, na condutividade e no pH da água.

Os teores de matéria orgânica no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu (Figura 3) variaram entre 0,8% (Ponto 4) e 5,4% (Ponto 6) e entre 0,6% (Ponto 2) e 6,6% (Ponto 8), respectivamente. Todos os pontos apresentaram porcentagens inferiores a 10%, o que caracteriza sedimentos minerais.



**Figura 2.** Precipitação diária entre os dias 24/01/2005 e 30/01/2005 e 15/01/2007 e 21/01/2007 nos municípios de Jacupiranga e Pariquera-Açu. Fonte: CIIAGRO (2005, 2007).



**Figura 3.** Matéria orgânica (%) no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu, nos diversos pontos de amostragem.

O Ponto 1, no rio Pariquera-Açu, apresentou um teor relativamente alto de matéria orgânica, o que pode estar associado à contribuição de material alóctone nesta estação amostral, representada por folhas e galhos provenientes da mata ciliar. Salienta-se,

ainda, a porcentagem encontrada na foz do rio Pariquera-Açu (Ponto 8), 6,6%. O comportamento lântico do rio neste local, em função do encontro com o rio Ribeira de Iguape, favorece intenso crescimento de macrófitas aquáticas e a sedimentação das partículas, contribuindo para o aumento do

teor de matéria orgânica nesta estação amostral, em comparação às demais.

As concentrações de nitrogênio total (Figura 4) nos pontos de amostragem do sedimento do rio Jacupiranguinha oscilaram entre  $0,07 \text{ mg g}^{-1}$  (Ponto 8) e  $1,06 \text{ mg g}^{-1}$  (Ponto 6). Já no rio Pariquera-Açu, a mínima e a máxima concentração foram de  $0,04 \text{ mg g}^{-1}$  (Ponto 4) e  $0,82 \text{ mg g}^{-1}$  (Ponto 6).

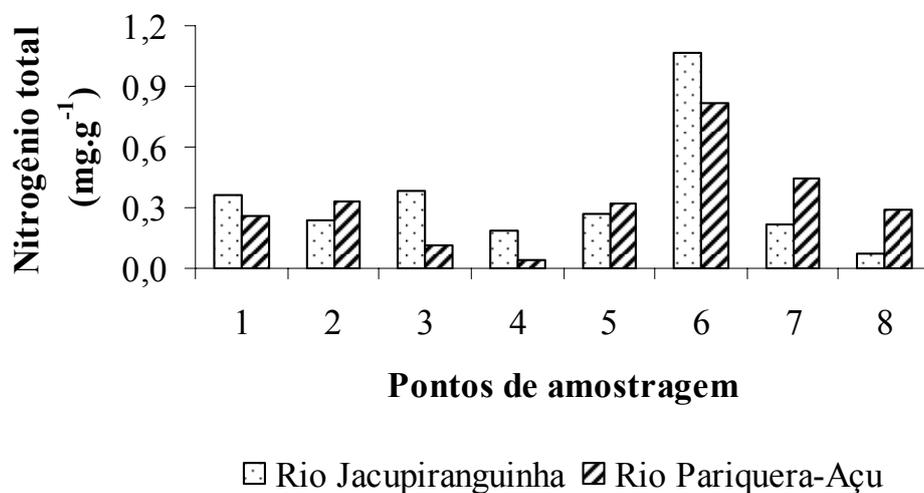
Houve um pico de concentração de nitrogênio total no Ponto 6 de ambos os rios. Considerando o rio Jacupiranguinha, esse fato deve ser associado ao efluente industrial; para o rio Pariquera-Açu, a elevada concentração no Ponto 6 pode estar relacionada à influência da cidade e de possíveis ligações clandestinas de esgoto doméstico. Além disso, nos dois sistemas lóticos foi possível notar o incremento de nitrogênio total no sedimento entre os Pontos 5 e 6, respectivamente a montante e a jusante das ETEs, evidenciando os impactos, nos corpos receptores, advindos do lançamento dos efluentes.

A mínima e a máxima concentração de fósforo total no sedimento (Tabela 4) dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu foram, respectivamente,  $0,12 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$  (Ponto 1) e  $10,50 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$  (Ponto 6) e  $0,07 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$  (Ponto 5) e  $1,00 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$  (Ponto 8).

O Ponto 6, no rio Jacupiranguinha, apresentou elevada concentração de fósforo total no sedimento, evidenciando que a indústria de fertilizantes é fonte pontual de poluição, corroborando o que foi verificado por Owens & Walling (2002) para rios da Inglaterra. Os autores apontaram os efluentes industriais como uma das principais fontes de fósforo aos sistemas aquáticos.

Salienta-se, também, a concentração de fósforo total no Ponto 8 do rio Pariquera-Açu,  $1,00 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ , a qual pode ser associada ao comportamento lântico do sistema neste ponto, propiciando maior sedimentação e desenvolvimento de macrófitas aquáticas.

A comparação entre as concentrações de metais pesados no sedimento dos dois rios estudados (Tabela 5) mostrou que o rio Jacupiranguinha apresentou, em geral, as maiores concentrações de chumbo, cobre, manganês e mercúrio. Deve-se destacar que, como guia para a qualidade dos sedimentos no estado de São Paulo, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) adota os valores estabelecidos por CCME (1995) como TEL (Threshold Effect Level), que representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos.



**Figura 4.** Nitrogênio total ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu, nos diversos pontos de amostragem.

**Tabela 4.** Fósforo total ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu, nos diversos pontos de amostragem.

Ponto	Fósforo total ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	
	Rio Jacupiranguinha	Rio Pariquera-Açu
1	0,12	0,14
2	0,13	0,08
3	0,32	0,11
4	0,17	0,09
5	0,50	0,07
6	10,50	0,13
7	1,40	0,13
8	0,83	1,00

**Tabela 5.** Concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de cádmio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu, nos diversos pontos de amostragem.

Ponto	Cádmio	Chumbo	Cobre	Manganês	Mercúrio
	----- ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) -----				
1J	< 0,2	3,7	7,8	269,0	0,15
1P	< 0,4	2,8	7,3	132,0	< 0,02
2J	< 0,2	4,6	9,5	293,0	< 0,10
2P	< 0,4	< 0,4	0,9	37,0	< 0,02
3J	< 0,2	4,8	9,6	384,0	< 0,10
3P	< 0,5	1,8	1,1	55,0	< 0,02
4J	< 0,2	2,5	4,8	234,0	< 0,10
4P	< 0,4	< 0,4	0,6	12,0	< 0,01
5J	< 0,2	5,1	10,3	274,0	0,10
5P	< 0,4	0,6	0,9	15,0	< 0,01
6J	< 0,2	7,4	22,0	551,0	0,15
6P	< 0,5	< 0,5	< 0,5	4,5	< 0,02
7J	< 0,2	3,9	9,2	233,0	0,13
7P	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,9	0,01
8J	< 0,2	4,6	8,0	370,0	0,12
8P	< 0,5	26,0	14,0	424,0	< 0,02

Legenda: J – rio Jacupiranguinha; P – rio Pariquera-Açu. Os números que antecedem as letras equivalem aos pontos.

Para os metais cádmio, chumbo, cobre e mercúrio essas concentrações são:  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $35,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $35,7 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $0,17 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Nenhuma amostra do sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu apresentou concentrações acima destes valores.

As concentrações de cádmio no sedimento, para os dois rios, foram inferiores aos limites de detecção do

método empregado, em todos os pontos. Já para o chumbo, as máximas concentrações encontradas nos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu foram de  $7,4 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $26,0 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. As maiores concentrações de cobre no sedimento foram detectadas no rio Jacupiranguinha, com pico de  $22,0 \text{ mg kg}^{-1}$  no Ponto 6, que corresponde ao efluente industrial. Similarmente, as máximas concentrações de manganês e de mercúrio também foram

verificadas no Ponto 6, no rio Jacupiranguinha, 551,0 mg kg<sup>-1</sup> e 0,15 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Lopes Jr. (2005) estudou a distribuição de uma série de metais pesados no sedimento de rios do Vale do Ribeira. Para o chumbo, por exemplo, o pesquisador encontrou concentrações elevadas nos sedimentos do rio Furnas, atingindo 123,0 mg kg<sup>-1</sup>, o que ocasiona, inclusive, a contaminação dos peixes deste sistema aquático. No que se refere ao metal cobre, Lopes Jr. (op. cit.) encontrou concentrações superiores a 59,0 mg kg<sup>-1</sup> nos sedimentos dos rios das sub-bacias nas

cabeceiras do Ribeira de Iguape, a norte de Itaiacoca, o que foi associado, sobretudo, às atividades de mineração desenvolvidas nessas localidades.

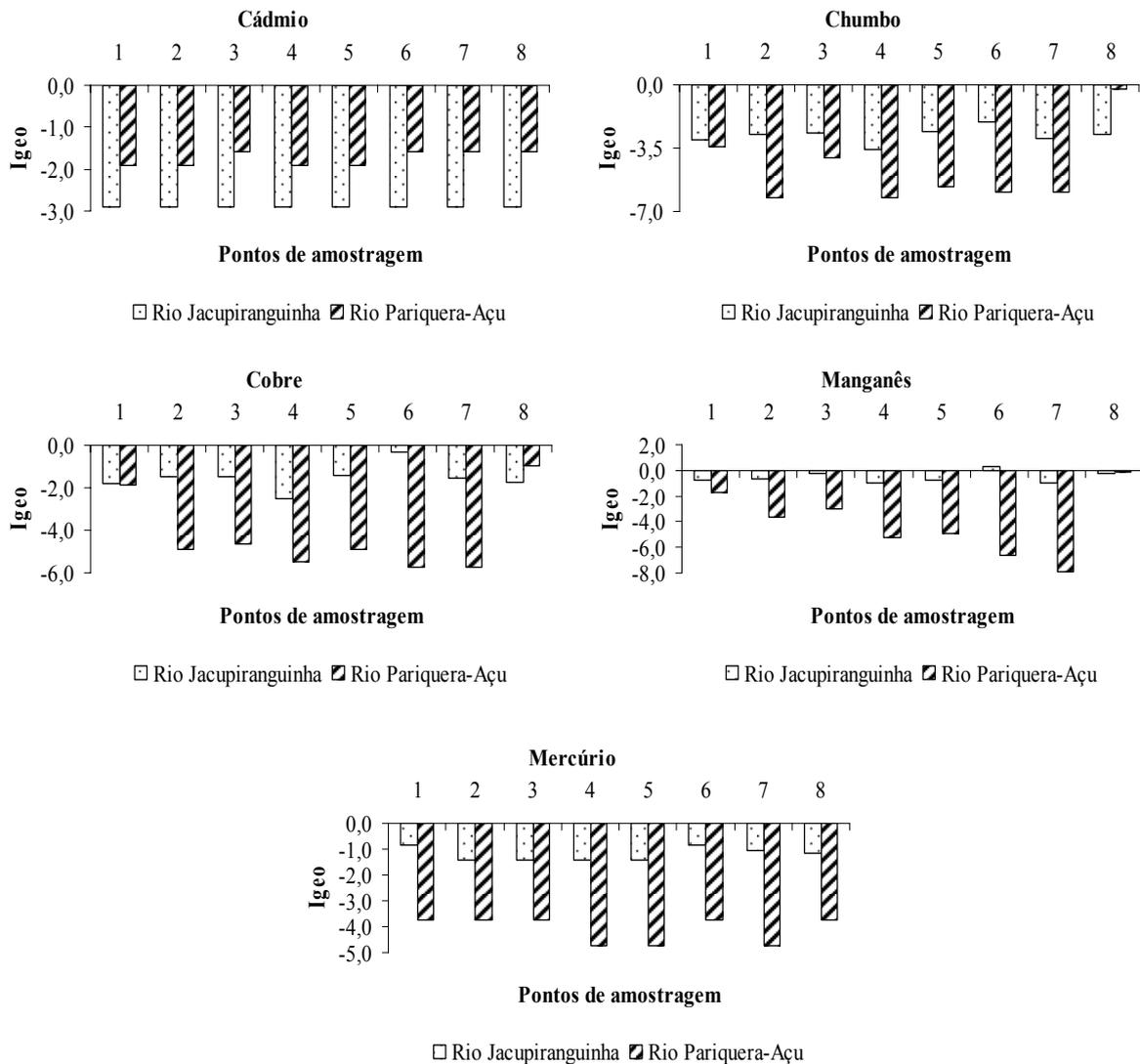
A Tabela 6 apresenta concentrações máximas de cádmio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio obtidas no sedimento de diferentes sistemas lóticos brasileiros, por diversos pesquisadores. Pode-se afirmar que as concentrações de metais pesados no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu foram baixas, em comparação com aquelas encontradas nos sedimentos de outros sistemas lóticos do Brasil.

**Tabela 6.** Comparação entre as máximas concentrações de metais pesados no sedimento dos rios estudados na presente pesquisa e de outros rios brasileiros

Metal	Máxima concentração (mg kg <sup>-1</sup> )	Local/Referência
Cádmio	< 0,5	Rio Pariquera-Açu, SP (presente pesquisa)
	2,5	Rio Paraíba do Sul, RJ (Molisani, 1999)
	5,0	Rio Mogi-Guaçu (Brigante <i>et al.</i> , 2003; Silva, 2002)
Chumbo	26,0	Rio Pariquera-Açu, SP (presente pesquisa)
	45,0	Rio Paraíba do Sul, RJ (Molisani, 1999)
	233,0	Rio Piracicaba, SP (Tomazelli, 2003)
Cobre	22,0	Rio Jacupiranguinha, SP (presente pesquisa)
	72,2	Rio Tubarão, SC (Lima <i>et al.</i> , 2001)
Manganês	551,0	Rio Jacupiranguinha, SP (presente pesquisa)
	1.324,0	Rio Mogi-Guaçu (Brigante <i>et al.</i> , 2003)
Mercúrio	0,15	Rio Jacupiranguinha, SP (presente pesquisa)
	0,20	Rio Acre, AC (Mascarenhas <i>et al.</i> , 2004)

Os Igeo calculados resultaram em valores negativos para todos os metais, em todos os pontos de amostragem nos dois rios estudados (Figura 5). Isso significa que, tomando-se por base este índice, não

havia, na época das coletas, contaminação do sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu por nenhum dos metais quantificados nesta pesquisa.



**Figura 1.** Igeo para os metais cádmio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio nas amostras de sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu nos diversos pontos de amostragem.

As matrizes de correlação entre as variáveis do sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu (Tabelas 7 e 8) forneceram informações esclarecedoras. Destacou-se, nos dois sistemas, a atuação dos metais pesados na

adsorção da matéria orgânica no sedimento. Assim, foram encontradas correlações significativas entre os teores de matéria orgânica e os metais chumbo, cobre e manganês, corroborando o que foi destacado por Cunha et al. (2007).

**Tabela 7.** Matriz de correlação entre as variáveis do sedimento do rio Jacupiranguinha.

	MO	NT	PT	Cd	Pb	Cu	Mn	Hg
MO	1,00							
NT	<b>0,93</b>	1,00						
PT	<b>0,96</b>	<b>0,92</b>	1,00					
Cd	0,00	0,00	0,00	1,00				
Pb	<b>0,93</b>	<b>0,80</b>	<b>0,82</b>	0,00	1,00			
Cu	<b>0,98</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	0,00	<b>0,94</b>	1,00		
Mn	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,84</b>	0,00	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	1,00	
Hg	0,42	0,56	0,59	0,00	0,35	0,51	0,39	1,00

Legenda: MO – matéria orgânica; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; Cd – cádmio; Pb – chumbo; Cu – cobre; Mn – manganês; Hg – mercúrio

**Tabela 8.** Matriz de correlação entre as variáveis do sedimento do rio Pariquera-Açu.

	MO	NT	PT	Cd	Pb	Cu	Mn	Hg
MO	1,00							
NT	-0,05	1,00						
PT	<b>0,93</b>	-0,04	1,00					
Cd	0,43	0,40	0,42	1,00				
Pb	<b>0,93</b>	-0,10	<b>1,00</b>	0,37	1,00			
Cu	<b>0,94</b>	-0,15	<b>0,90</b>	0,17	<b>0,92</b>	1,00		
Mn	<b>0,94</b>	-0,17	<b>0,96</b>	0,27	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	1,00	
Hg	0,33	0,20	0,32	0,26	0,34	0,43	0,44	1,00

Legenda: MO – matéria orgânica; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; Cd – cádmio; Pb – chumbo; Cu – cobre; Mn – manganês; Hg – mercúrio

Evans et al. (2004) ressaltaram a importância do cobre e de outros metais, como o chumbo e o manganês, na adsorção do fósforo associado ao material particulado e à matéria orgânica. A presente pesquisa confirmou o que foi verificado por estes pesquisadores. Concentrações elevadas de fósforo no sedimento indicam que, possivelmente, houve aporte de metais ao corpo de água. Isso porque esses metais reagem com o fósforo, complexando-o e tornando-o insolúvel. O fósforo, então, precipita e se torna indisponível e imobilizado no sedimento

Além disso, as correlações obtidas entre os metais manganês e cobre coincidem com o que foi concluído por Pedrozo et al. (2001), segundo os quais as concentrações de ferro, manganês e óxidos de alumínio podem atuar significativamente na adsorção de cobre.

#### 4. CONCLUSÕES

A comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados no sedimento dos rios Jacupiranguinha e Pariquera-Açu, Vale do Ribeira de Iguape, SP, permitiu concluir que:

i. Os sedimentos dos dois rios foram considerados minerais, por apresentarem teores de matéria orgânica

inferiores a 10%. As máximas concentrações de nutrientes estiveram relacionadas ao lançamento de efluentes da indústria de fertilizantes (rio Jacupiranguinha), da lagoa de estabilização no rio Pariquera-Açu e, além disso, à mudança de seu comportamento de lótico para lântico, propiciando o desenvolvimento de macrófitas aquáticas no corpo de água e a sedimentação do material particulado;

ii. O sedimento do rio Jacupiranguinha apresentou, em geral, concentrações mais elevadas dos metais pesados quantificados, sobretudo no Ponto 6, onde ocorre lançamento de efluente industrial, reconhecido como fonte pontual de poluição;

iii. Foram observadas correlações significativas entre as concentrações de matéria orgânica e fósforo total e os metais pesados cobre, chumbo e manganês, indicando a importância destes metais na adsorção do fósforo associado ao material particulado e à matéria orgânica;

iv. O cálculo do Igeo revelou que os sedimentos dos dois rios não estavam poluídos pelos metais pesados estudados na ocasião das coletas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar sinceros agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro autor (Processo FAPESP 06/53550-4) e pelo auxílio financeiro (Processo FAPESP 02/13449-1).

## REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, J.M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Resources**, v. 10, p. 329-331, 1976.
- APHA **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20th Edition. 2002.
- BOWEN, H.J.M. **Environmental Chemistry of the elements**. Academic Press London. 333p. 1979.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.G.; POVINELLI, J.; SILVA, M.R.C.; NOGUEIRA, A.M.; FILHO, V.A. Caracterização Física e Química do sedimento do rio Mogi-Guaçu. In: Brigante, J. e Espíndola, E.G. (eds) – **Limnologia Fluvial: um estudo do rio Mogi-Guaçu**, 2003
- CCME **Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. Report CCME EPC-98E. Prepared by the Technical Secretariat of the Water Quality Guidelines Task Group, Winnipeg, Manitoba. 38 p. 1995.
- CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas) (2005, 2007). Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). **Balço Hídrico da região do Vale do Ribeira**. Disponível em: <<http://ciiagro.iac.sp.gov.br/ciiagroonline>>. Acesso: 01/04/2007
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; MIWA, A.C.P. A precipitação pluviométrica como agente indutor de modificações nas características químicas do sedimento do rio Jacupiranguinha, Vale do Ribeira de Iguape, SP. **Revista Minerva**, v. 4, p. 41-49, 2007
- EVANS, D.J.; JOHNES, P.J.; LAWRENCE, D.S. Physico-chemical controls of phosphorus cycling in two lowland streams. Part 2 – The Sediment phase. **Science of the Total Environment**, v. 329, p. 165-182, 2004
- FÖRSTNER, U. e WITTMAN, G.T.W. **Metal pollution in aquatic environment**. Springer-Verlag, Berlin. 484p. 1983.
- LIMA, M.C.; GIACOMELLI, M.B.O.; STÜPP, V.; ROBERGE, F.D. Especiação de Cobre e Chumbo em Sedimento do rio Tubarão (SC) pelo Método Tessier. **Revista Química Nova**, v. 24, p. 734-742, 2001.
- LOPES JR., I. **Atlas geoquímico do Vale do Ribeira: geoquímica dos sedimentos ativos de corrente**. São Paulo: CPRM. 77p. 2005
- MASCARENHAS, A.F.S.; BRABO, E.S.; SILVA, A.P. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amaz.**, v. 34, p. 61-68, 2004.

- MOCCELLIN, J. **A microbacia do rio Jacupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos no Baixo Ribeira de Iguape**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). 151p. 2006.
- MOLISANI, M.M. **Geoquímica de metais pesados associados ao sedimento de fundo da porção inferior e estuário interno do rio Paraíba do Sul, RJ**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro. 64p. 1999.
- MOREIRA, R.C.A.; BOAVENTURA, G.R. Regional geochemical reference for the interpretation of the chemical elements concentrations in the sediment samples from Lago Paranoá watershed - DF. **Química Nova**, v. 26, p. 812-820, 2003
- MORSCH, V.M. **Investigação do grau de contaminação dos solos e de sedimentos das regiões de Candiota e Charqueadas (RS) com elemento traço de relevância ambiental**. UFSM, Santa Maria, RS. 134p. 1991.
- NASCIMENTO, R.L.D. **Proposição de valores de referência para concentração de metais e metalóides em sedimentos límnicos e fluviais da bacia hidrográfica do rio Tietê, SP**. Tese (Doutorado). Instituto de Química, Universidade Federal de São Carlos (IQ-UFSCar). 142p. 2003.
- OWENS, P.N.; WALLING, D.E. The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. **Water Research**, v. 36, p. 685-701, 2002.
- PÁDUA, H.B. Variáveis físicas, químicas e biológicas para caracterização das águas em sistemas abertos. In: MARTOS, H.L. e MAIA, N.B. (eds) - **Indicadores Ambientais**, Sorocaba, SP. 9p. 1997
- PEDROZO, M.F.M.; LIMA, I.V. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos**. Cadernos de Referência Ambiental, v. 2, 128p. 2001.
- SILVA, M.R.C **Estudo de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu, com ênfase na determinação de metais**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). 198p. 2002
- THOMAS, R.L. A protocol for the selection of process-oriented remedial options to control in situ sediment contaminants. Ecological effects of in situ sediment contaminants. **Hydrobiology**, v. 149, p.247-258, 1987.
- TOMAZELLI, A.C. **Estudo comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado). Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada, Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP). 124p. 2003.
- VIANA, S.M. **Riqueza e distribuição de macrófitas aquáticas no rio Monjolinho e tributários (São Carlos) e análise de sua relação com as variáveis físicas e químicas**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). 135p. 2005.

TRINDADE, M. **Nutrientes em sedimento da represa do Lobo (Brotas-Itirapina/SP)**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos. 219p. 1980.